Introducción

La ergonomía, entendida como la disciplina que estudia la interacción entre el ser humano y los objetos en el contexto de un entorno determinado, se ha posicionado como un elemento imprenscindible en el proceso de diseño. Asimismo, sus alcances se han extendido ampliamente, abarcando un sinnúmero de objetos con los que el ser humano interactúa. Una clasificación simple la constituye la dicotomía entre ergonomía física y la ergonomía cognitiva. De esta manera, se pueden considerar dos vastos campos de interacciones: el ámbito físico y el cognitivo o psicológico. El contenido del presente libro se enfoca en esta última área de la ergonomía.

Existen términos relevantes en la disciplina que pueden ser utilizados en ambos campos, tales como la usabilidad y la interfaz. La usabilidad se refiere a las propiedades o características del producto que permite que este pueda usarse más fácilmente, considerando su efectividad, eficiencia y satisfacción. Tiene que ver, obviamente, con lo amigable de los productos. Por otro lado, la interfaz es el medio a través del cual se comunica la persona y el producto. Esta comunicación puede realizarse en dos direcciones: del producto hacia el usuario y en sentido opuesto.

En el caso del diseño de cualquier tipo de producto, estos tienen presentes varias características, entre ellas la forma, el volumen, el color, el material, la textura, la luminosidad, etcétera. Todos estos elementos se comunican de manera inicial y relevante por medio de la interfaz visual, de ahí la importancia de un diseño ergonómico de este tipo de interfaz, que considere la usabilidad de la misma. En el caso específico del diseño gráfico, la interfaz visual cobra una importancia mayor, ya que se trata de la interfaz fundamental y muchas veces única, mediante la cual se establece la comunicación producto-usuario.

El usuario establece entonces una serie de relaciones sensoperceptuales con la interfaz del producto, por lo tanto para llevar a buen término un diseño

ergonómico es necesario el conocimiento del sistema perceptual visual y de los datos empíricos relacionados con este tema.

Desde hace ya bastante tiempo el estudio de la percepción visual ha sido llevado a cabo desde diferentes disciplinas. Los antiguos griegos y filósofos de otras civilizaciones se preguntaron cómo se adquiere el conocimiento de lo que está afuera, más allá de nuestro cuerpo. En esas aproximaciones se consideró que el estudio de la sensación y la percepción eran aspectos fundamentales, ya que a partir de estos procesos se adquiría información el medio externo y se podía construir el conocimiento.

La presente obra se funda en un enfoque cognoscitivo-constructivista, en el cual ubicamos los aspectos de la psicología soviética, en el sentido de cómo se construye el conocimiento, a partir de aspectos fisiológicos y psicosociales. Se retoman también los hallazgos de la teoría de la Gestalt y nos ocupamos principalmente de los principios de la forma, que no contradicen nuestra perspectiva teórica.

El libro incluye seis capítulos, en los que se presentan los fundamentos teóricos y datos empíricos de la percepción visual para fundamentar los requerimientos de diseño de la interfaz visual. Por ello, el contenido es útil para el diseño gráfico, el industrial y el de interiores, ya que abarca el conocimiento teórico indispensable para guiar el diseño desde la perspectiva de la percepción visual.

Si desde el punto de vista de la psicología soviética los procesos cognoscitivos, entre ellos el proceso perceptual, son el producto supremo de la materia organizada de un modo especial, es obvia la importancia que tiene la estructura y fisiología del sistema nervioso para comprender cómo se construyen los procesos cognoscitivos y preceptuales. Debido a esto, el primer capítulo de esta obra, "Bases fisiológicas de la percepción visual", está dedicado al sistema visual desde el punto de vista fisiológico y el funcionamiento general de la percepción visual, incluyendo tanto el nivel periférico como el central. Además, especifica los diversos mecanismos que subyacen a la percepción visual de forma, distancia, tamaño, profundidad y movimiento.

El segundo capítulo, "Procesos psicológicos de la percepción visual", comienza con datos históricos y actuales que fundamentan la importancia de la percepción visual y de los mensajes, estableciendo la función y relevancia del estudio de la percepción visual en la ergonomía para coadyuvar al logro de un diseño que satisfaga las necesidades del usuario o perceptor. Posteriormente, se estudia la percepción propiamente dicha, explicando los principales procesos psicológicos que participan de ella. Este apartado concluye con características esenciales de la percepción, desde el punto de vista de la psicología soviética.

El tercer capítulo, "Conceptos básicos de la luz y características perceptuales humanas", abarca la terminología técnica del estímulo de la percepción visual: la energía radiante. Además, presenta los datos más relevantes en cuan-

to a las capacidades y limitaciones del sistema visual humano, considerando la descripción y explicación de los factores y fenómenos que inciden en el desempeño visual para su adecuada consideración en el diseño.

Las leyes o principios emanados de la psicología de la Gestalt, que rigen la percepción de la forma, son el contenido principal del cuarto capítulo, ilustrado con ejemplos gráficos para facilitar su comprensión.

Los capítulos cinco y seis están dedicados al estudio del color: el primero, desde un plano cromático –físico y fisiológico–, incluye una sección sobre los principios de armonía e interacción del color que han establecido especialistas en el uso del color; mientras el segundo, desde el punto de vista cromatológico –psicología o significado del color–, integra los datos sobre los efectos del color que han sido generados en diferentes investigaciones, algunas de ellas encabezadas por la misma autora.

Al final del contenido en cada capítulo aparece una guía de preguntas de repaso; además, en algunos capítulos se insertaron secciones denominadas "Sabías qué...?", la cual presenta información interesante adicional acerca del tema; en algunos capìtulos se incluye también la sección de "Demostraciones y experimentos", para proporcionar evidencias empíricas de algunos de los procesos perceptuales; finalmente, aparecen ejercicios de repaso de los contenidos, muchos de ellos con ilustraciones para facilitar la comprensión.

En suma, la intención de este libro es abrir un nuevo horizonte de conocimiento hacia el asombroso mundo de la percepción visual y su trascendencia en el diseño.

Lilia Roselia Prado León
Profesora investigadora titular C
Centro de Investigaciones en Ergonomía
Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño

CAPÍTULO 1

Bases fisiológicas de la percepción visual

Introducción

Los procesos cognoscitivos, entre ellos el proceso perceptual, son el producto supremo de la materia organizada de un modo especial. Para comprenderlos es imprescindible conocer a fondo la estructura y la fisiología del sistema nervioso.

¿Cómo funciona el sentido de la vista para recolectar información del mundo externo? Esta ha sido una pregunta que el ser humano se ha hecho desde hace más de mil años y que ha intrigado a una gran cantidad filósofos y científicos, que han abordado la cuestión desde diversas perspectivas. Aún en la actualidad, quedan muchas preguntas sin respuesta y saberes por descubrir.

El presente capítulo se enfoca en explicar cómo el mundo externo interactúa con nuestros sentidos y proporciona los **estímulos** que serán transformados, integrados y procesados por el sistema nervioso para convertirlos en una percepción. Este complejo proceso ocurre en fracciones de segundo y pasa inadvertido para nosotros, que podemos suponer que se trata de un hecho muy simple. A lo largo de este primer apartado revisaremos una cantidad considerable de procesos complejos que ocurren para llevar a cabo el proceso de la percepción.

Entidad, estímulo
En la aplicación de pruebas, son los objetos que serán clasificados. Por ejemplo, si se desea evaluar la facilidad de uso de estufas, cada estufa que se evalúe sería una entidad. También se evalúan personas en relación con su inteligencia; en este caso, cada persona sería una entidad.

Por supuesto, la percepción final no es el resultado de un proceso fisiológico únicamente: no puede desligarse de las dimensiones psicológicas y socioculturales. Sin embargo, para su estudio nos enfocaremos primero en la anatomía y fisiología de este sistema visual; en el siguiente capítulo, se abordará la psicología de la percepción visual. Se trata de información que empezamos a adquirir desde la educación primaria, aunque en este capítulo se presentan datos más detallados sobre el sistema visual, respondiendo a

preguntas como las siguientes: ¿Cómo se lleva a cabo el proceso de percepción del movimiento? ¿Cómo logramos percibir en tercera dimensión? ¿En qué se parece la cámara fotográfica al sistema visual humano?

Elementos estructurales y funcionales del ojo humano

Los mensajes visuales que recibimos llegan a través de la incidencia de la energía radiante proveniente de una fuente de luz y que entra en el ojo, así como de los reflejos de ella en los objetos. La estructura anatómica del ojo contiene los elementos funcionales necesarios para recibir la energía radiante (luz) y transformarla en energía nerviosa (hasta aquí, el llamado proceso sensorial o sensación), la cual es conducida hasta el cerebro, donde se lleva a cabo el fenómeno de la percepción. De esta manera, podemos identificar tres elementos fisiológicos necesarios para que se complete la comunicación por medio del sistema visual: el ojo, los nervios ópticos y el cerebro. A continuación, se describe la estructura y funcionamiento de estos tres elementos, con el fin de comprender de manera integral el proceso sensoperceptual (Birren, 1955 y Cohen, 1977).

Recordemos que el ojo es una esfera de 20 milímetros de diámetro (Schiffman, 2001), compuesta básicamente por tres capas: la esclerótica, la coroides y la retina. En los párrafos siguientes se describe cada una de estas capas, así como sus prolongaciones y otros elementos del ojo que desempeñan un papel relevante en el proceso de la visión (figura 1.1).

- *Esclerótica* (primera capa). Recubre el globo ocular, con excepción del frente. Es una membrana fibrosa, opaca y resistente que sirve para proteger el ojo (la identificamos como la parte blanca).
- *Coroides* (segunda capa). Membrana delgada, aterciopelada, con células de pigmento negro; está en contacto con la capa esclerótica. La coroides tiene gran cantidad de vasos sanguíneos que son la principal fuente de nutrición para el ojo, sobre toda para la retina. Su función es evitar la degradación, por la luz extraviada o reflejos internos de la imagen formada.
- *Retina* (tercera capa). Es la más interna; superficie sensible a la luz que recibe la imagen. Se encuentra en contacto con la coroides y podría decirse que la cubre hasta el iris. En la retina se proyectan las imágenes invertidas y de ahí se trasmiten al sistema nervioso central. La retina contiene los neurorreceptores sensibles a la luz: los conos, los bastones y diferentes clases de células nerviosas. Estas últimas son principalmente **células bipolares** y **células ganglionares** con las que los fotorreceptores hacen sinapsis, como una cadena vertical. La información también viaja a través de las **células horizontales** y las **células amacrinas.** Las conexiones horizontales interco-

Células bipolares
Células en la retina que reciben información de los bastones y conos y la envían a las células ganglionares.

Células ganglionares
Células que van desde las bipolares de la retina hasta el cerebro.

Células horizontales
Células en la retina que permiten que los fotorreceptores se comuniquen entre sí.

Células amacrinas
Células en la retina que permiten que las células ganglionares y las células bipolares se comuniquen entre sí.

nectan a los fotorreceptores (en la parte derecha de la figura 1.2 pueden observarse las conexiones verticales hacia el nervio óptico). Debido a que de la retina parte el nervio óptico, se dice que ella es una extensión del mismo. A la zona por donde sale el nervio óptico se le denomina *punto ciego.*

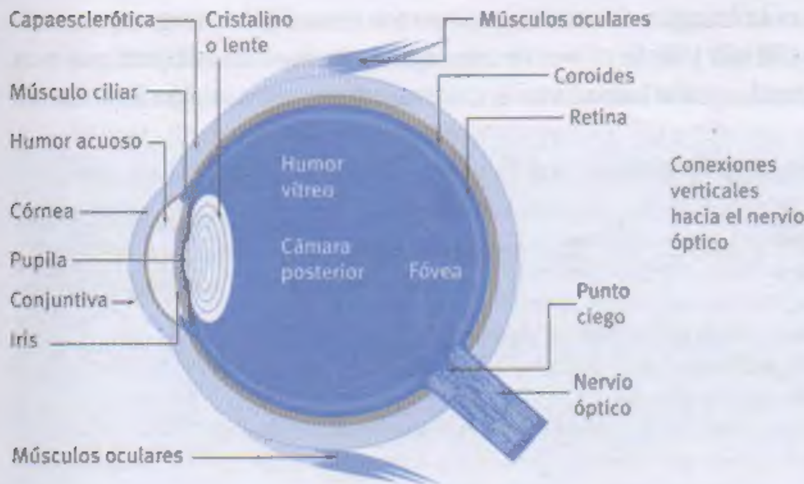


Figura 1.1 Anatomía del globo ocular.

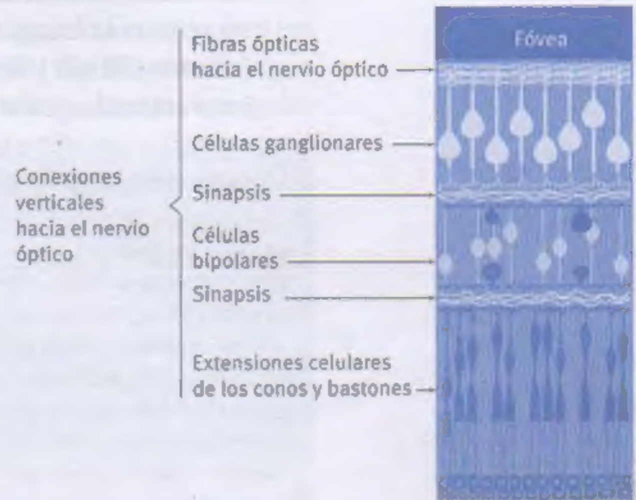
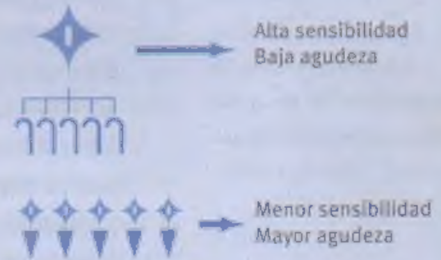


Figura 1.2 Conexiones nerviosas ojo-cerebro.

¿Sabías que...?

Las células bipolares y ganglionares (con las que se conectan los fotorreceptores) son menos que los bastones en la periferia de la retina, por lo que cada célula bipolar y ganglionar recibe la aportación de muchos bastones (relación neutral conocida como suma espacial). Por esto, cientos de bastones llegan a conectarse con una sola célula intermedia. En cambio, en la fóvea la cantidad de conos es casi igual a la de las células intermedias, de modo que muchos conos se conectan independientemente con una sola célula bipolar y ganglionar. Por esto, la transmisión entre la fóvea y el nervio óptico es más directa. Cuando muchos bastones se comunican con una sola célula intermedia, aumenta la probabilidad de que la célula intermedia alcance el nivel de energía necesario para dispararse, es decir, aumenta la sensibilidad, la capacidad para percibir en niveles bajos de iluminación; asimismo, cada bastón requiere de menor luz para estimularse, en comparación con los conos. Este hecho explica la visión de reojo para mirar una estrella.



En la parte superior se representan los conos conectados a una célula y en la parte inferior, cada bastón conectado a una célula.

En el caso de los conos, tienen una línea relativamente independiente o privada con el cerebro de manera que tiene más posibilidades de aportar información independiente respecto a su fuente de estimulación, información necesaria para descubrir los detalles, lo que llamamos agudeza (Schiffman, 2001).

- *Fóvea.* Es una zona de la retina ubicada en el área central que resuelve la imagen con mayor detalle y color. En la fóvea se encuentran la mayor parte de los conos (cinco millones, y muy pocos bastones, aproximadamente 50 mil, lo que representa un porcentaje muy pequeño en relación

con el número de bastones en toda la retina). La extensión de la fóvea es aproximadamente del tamaño de esta letra o (Goldstein, 1999). Ordinariamente, el área más pequeña de sensibilidad de la fóvea es para el verde; en dimensión le sigue el rojo, después el amarillo y el azul. Muchas de las acciones de la visión ocurren en ella. Cuando fijamos la vista en un objeto, la imagen de este llega directamente en la fóvea. Los movimientos del ojo y de la cabeza hacen que la imagen del objeto que nos interesa se desplace hacia la fóvea, donde se propicia la agudeza visual.

¿Sabías que...?

No todos los animales tienen una fóvea en la parte central de la retina. Muchos mamíferos no tienen fóvea, mientras los caballos tienen dos fóveas en cada ojo, lo que les permite ver claramente, al mismo tiempo, el piso sobre el que caminan y lo que está al frente.



El caballo tiene dos fóveas.

- *Conos.* Elementos fotosensibles responsables de las sensaciones cromáticas (colores) y de la agudeza visual; son sensibles a estímulos luminosos de niveles altos (baja sensibilidad). Existen de cinco a ocho millones de conos distribuidos en toda la retina.
- *Bastones.* Al igual que los conos, son elementos fotosensibles, pero a estímulos luminosos de bajo nivel, por lo tanto tienen mayor sensibilidad que los conos, pero también baja agudeza. Producen sensaciones acromáticas (blanco, negro y escala de grises). Hay aproximadamente 130 millones de bastones en la retina. Tanto los conos como los bastones contienen **fotopigmentos** que son transformados por la energía radiante, produciendo reacciones químicas, cuyos desbalances eléctricos se transmiten a niveles superiores del procesamiento visual.
- *Conjuntiva.* Membrana delgada y transparente, continuación de la piel facial que cubre el frente del ojo.
- *Córnea.* Parte de la esclerótica, es transparente y también cumple con la función de proteger el ojo, pero en la zona frontal; no contiene vasos sanguíneos. Además de proteger, la córnea sirve como el lente preliminar y ayuda a **enfocar** la luz (Goldstein, 1999). De hecho, Matlin y Foley (1996) señalan que la córnea es la responsable de cerca de dos tercios de la **refracción** de la luz que entra al ojo.
- *Iris.* Anillo de músculos pigmentado que rodea la pupila y está colocado entre la córnea y el lente. El iris lo forman dos tipos de músculos que posibilitan la dilatación o contracción de la pupila. Constituye una prolongación de la coroides y puede variar de pigmentos (esta estructura es

Fotopigmentos
Sustancias químicas que llevan a cabo la transducción de la luz (transformación de la luz en otro tipo de señal).

Enfocar
Dirigir un foco de luz hacia cierto sitio u objeto.

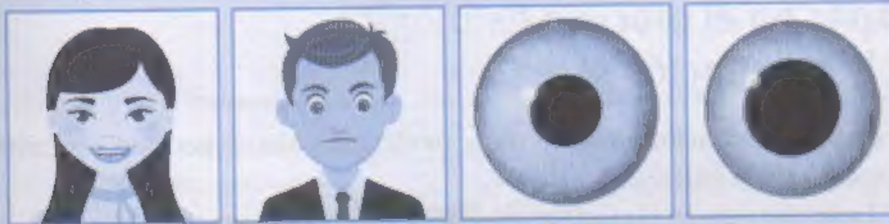
Refracción
Cuando un rayo incidente de luz llega a una superficie y la atraviesa, convirtiéndose entonces en un rayo refractado.

la que diferencia el «color de ojos»: negros, cafés, verdes, azules, etcétera). El pigmento oscuro del iris –que generalmente tenemos los mexicanos– es el óptimo para llevar a cabo el proceso de la visión, por la mejor restricción de la luz que penetra en el ojo desde el exterior (Matlin y Foley, 1996). El iris tiene más de 250 diferentes características que conforman un patrón que difiere entre una persona y otra. Por ello es que puede ser un identificador efectivo, más que la huella digital (Schiffman, 2001).

- *Pupila.* Abertura transparente en el centro del iris, su función es regular la entrada de luz que se proyecta en la retina. Sin embargo, es interesante hacer notar que es factible que la dilatación de la pupila no ocurra solamente por la cantidad de luz, sino también por factores emocionales. Si la persona experimenta una carga mental o emoción agradable, la pupila se dilata más (Schiffman, 2001).

¿Sabías que...?

La dilatación de la pupila no solamente ocurre por la cantidad de luz, sino también por factores emocionales. Si es una emoción agradable se dilata más o si existe carga mental, también se dilata.



La pupila se dilata también por aspectos emocionales y carga mental.

- *Cristalino.* Lente semirrígido de membranas claras colocado inmediatamente detrás del iris, cuya función es completar la tarea iniciada por la córnea, de enfocar las ondas luminosas sobre los fotorreceptores y así crear las imágenes en la retina. El cristalino también recibe el nombre de *lente.*
- *Cámaras.* El globo ocular tiene dos cámaras: la cámara frontal se encuentra detrás de la córnea y está llena del humor acuoso, un líquido claro que proporciona nutrientes y oxígeno a la córnea; el humor vítreo –sustancia gelatinosa que da forma al globo ocular– llena la cámara posterior, localizada entre el cristalino y la retina.
- *Músculos oculares.* Los músculos que sujetan el ojo controlan sus movimientos, que son simultáneos en ambos ojos. Además, los músculos ciliares controlan el enfocamiento, por lo que se activan cuando se ven objetos que se encuentran más cerca que 6.5 metros. Los músculos del iris controlan la cantidad de luz que penetra en el ojo.

Funcionamiento del sistema visual

Con las descripciones anteriores de las estructuras del ojo y su función, de alguna manera ha quedado explicado el funcionamiento del ojo. Sin embargo, necesitamos profundizar un poco más en el tema para comprender los fenómenos y efectos perceptuales aplicables al diseño. Necesitamos definir algunos términos esenciales para comprender el aspecto fisiológico de la percepción visual:

- *Estímulo.* Es la energía física que produce actividad nerviosa en determinado receptor. En el caso de la sensación visual, el estímulo es la energía luminosa o energía radiante. Por lo tanto, existe un estímulo específico para un receptor específico.
- *Receptor.* Es una estructura anatómica sensible a los estímulos físicos. En el caso de la sensación visual el receptor global es el ojo; los conos y los bastones son las células fotosensibles. El receptor también cumple con la función de transformar la energía radiante en energía nerviosa.

Etapas en el proceso fisiológico de la percepción visual

Las etapas del funcionamiento de la percepción visual podrían resumirse como sigue:

1. La luz penetra en el ojo a través de la pupila. En ella se regula la entrada de luz (mayor abertura cuando se requiere de mucha luz y menor abertura en el caso contrario) por la acción del iris.
2. La luz pasa al cristalino, donde se enfoca y crea la imagen.
3. La luz llega a la retina, cuyas células fotosensibles –conos y bastones– reciben la estimulación de la energía radiante.
4. Los bastones y los conos se encuentran conectados con las neuronas –células nerviosas–, que transmiten el estímulo al nervio óptico. Aquí se ha dado una conversión del estímulo original, de energía radiante (luz) a energía nerviosa. El punto en donde inicia el nervio óptico en la retina se le denomina *punto ciego*, porque en este no existen conos ni bastones, por lo tanto las imágenes que lleguen ahí no podrán ser percibidas.
5. El nervio óptico llega al cerebro y se reúne con su par –el nervio del ojo contrario– en el *quiasma óptico*. Éste tiene como función la redistribución de las fibras nerviosas y tiene forma de *x*. Las fibras del nervio óptico nasales cruzan en el quiasma óptico mientras que las externas o temporales siguen su camino sin cruzar (figura 1.2). La luz que proviene del lado derecho del campo visual estimula la parte izquierda de cada retina: la parte temporal del ojo izquierdo y la parte nasal del ojo derecho. Al

contrario, si la luz proviene del lado izquierdo del campo visual, estimula la parte temporal del ojo derecho y la nasal del izquierdo.

6. Después de la redistribución de los nervios, las fibras resultantes se llaman *tractos ópticos*. Estos penetran en los *cuerpos geniculados*.
7. De los cuerpos geniculados los tractos ópticos se conectan con las *radiaciones ópticas*.
8. Las radiaciones ópticas se conectan con los lóbulos occipitales derecho e izquierdo de la corteza cerebral.

De la primera etapa a la cuarta, el funcionamiento de la percepción visual involucra las estructuras del ojo y se le llama *nivel periférico de la visión*, ya que el sistema nervioso central no participa; corresponde al proceso psicológico de sensación. Los cuatro pasos restantes involucran las estructuras del cerebro –sistema nervioso central– por eso, se le denomina *nivel central de la percepción;* es en la corteza cerebral, destino final del estímulo, donde se lleva a cabo el proceso psicológico de la percepción. La figura 1.3 muestra las conexiones nerviosas mencionadas anteriormente.



Figura 1.3 Movimiento del objeto en la retina.

Dentro del cerebro, la percepción visual se ha ubicado en los lóbulos occipitales; el hemisferio derecho parece tener más participación en los procesos psicológicos de estructuras video-espaciales complejas. Esta localización no es completamente definitiva, ya que se ha demostrado que las zonas cerebrales identificadas para determinadas funciones no son completamente estrictas y puede haber *compensaciones* en otras zonas por medio del ejer-

cicio. Así, por ejemplo, en personas que tuvieron una lesión cerebral, y por esa causa perdieron el habla o algún movimiento, es posible que mediante rehabilitación otras zonas del cerebro cumplan las funciones de las dañadas.

Analogía del funcionamiento del ojo humano y la cámara fotográfica

Aunque el funcionamiento del ojo humano ha sido equiparado con el de una cámara fotográfica (figura 1.4), Goldstein (1999) y Oborne (1987) mencionan algunas diferencias:

- El movimiento del ojo siempre es constante, aunque no lo notemos, y el resultado es una imagen clara y enfocada. Por el contrario, la cámara debe permanecer fija para que la imagen sea clara.



Figura 1.4 Analogía entre la cámara y el ojo.

- La creación de la imagen en el caso de la fotografía, se lleva a cabo a través de un tratamiento químico de la película para formar un negativo, que luego se imprime en un papel que también recibe un tratamiento químico. En el sistema visual, la información de la retina se transforma en energía nerviosa que recorre un camino hacia el lóbulo temporal.
- El cristalino, equivalente al lente de la cámara, se encuentra en una posición fija, no se mueve hacia adelante y hacia atrás como en la cámara. Para poder enfocar, el ojo humano utiliza los músculos que lo mueven y hacen que cambie su curvatura, transformándose en cóncavo o convexo según se requiera.
- El diámetro de la pupila, equiparado con el diafragma de la cámara, permite funcionar en un rango mucho más amplio de intensidades de iluminación que la cámara.
- La capa fotosensible del ojo humano es curva, lo que compensa la curvatura del lente y por tanto permite un enfoque más rápido, más eficaz y un campo de visión más amplio.

- La distribución de los conos y bastones hace que el grado de sensibilidad en la retina no sea homogéneo; en la película fotográfica, la cual contiene los elementos fotosensibles a la luz, la sensibilidad sí es homogénea.
- Con los dos ojos se posibilita la visión binocular, que ayuda a percibir las relaciones espaciales entre los objetos, dando como resultado la tercera dimensión. La fotografía sólo es bidimensional.
- El sistema de visión humana permite la percepción visual del movimiento, aspecto que no es captado por la cámara de fotografía.

Estos dos últimos aspectos de la percepción visual humana, relación espacial y movimiento, se integran a las características de luminosidad y color por conexiones cerebrales, de manera que dan una imagen integral del objeto. Los mecanismos fisiológicos de la percepción visual del movimiento y del espacio difieren de los de luminosidad y color.

Como se puede observar, el funcionamiento visual humano supera al de la cámara fotográfica, aunque existan algunos aspectos similares. A continuación, describiremos de manera breve y simple los procesos subyacentes a la percepción del movimiento y a la percepción espacial.

Percepción del movimiento

Existen dos mecanismos básicos de *percepción visual del movimiento* que informan del movimiento del objeto enfocado por el ojo (Woodson, 1981 y Petrovsky, 1986):

- *Sistema de movimiento ocular.* El ojo sigue al objeto por medio de la acción de los músculos y la imagen en la retina permanece estacionaria. Esta misma acción de los músculos informa al cerebro el movimiento que hace el objeto (figura 1.5).

¿Sabías que...?

No todos los animales tienen músculos oculares. Por ejemplo, los búhos carecen de ellos, por eso tienen que mover su cabeza (hasta 270°).



- *Sistema retinal.* La imagen del objeto se mueve por la retina y tanto los conos como los bastones informan a lo largo del camino, cuando la mirada se mantiene fija en un objeto (figura 1.6).


Figura 1.5 Movimiento del globo ocular para captar el movimiento.


Figura 1.6 Clave de superposición.

De cualquier forma, el movimiento es percibido por el ser humano si la velocidad del objeto en movimiento está dentro de los límites de la agudeza visual. Si esto no ocurre, no se percibirá el movimiento sino solo su producto final, como en el caso del movimiento del minutero o la manecilla de las horas en un reloj, para movimiento lento; o el caso de las aspas de un ventilador, para movimiento rápido.

Percepción del espacio

También existen dos mecanismos básicos para la *percepción visual del espacio:* los mecanismos monoculares, en los que se incluyen las pistas monoculares y la acomodación, y los mecanismos binoculares, dentro de los cuales encontramos la disparidad binocular y la convergencia.

Mecanismos monoculares

Clave
Cualquier factor que permite que un observador tome una decisión automáticamente, sin requerir de un pensamiento elaborado.



Figura 1.7 Clave de superposición.

Claves o pistas monoculares (Goldstein, 1988):

- *Superposición o interposición.* Consiste precisamente en la sobreposición de unas figuras sobre otras, de modo que informan que las más próximas cubren a las más lejanas. La figura 1.7 muestra un ejemplo de superposición, en donde se puede observar que la mano *a* cubre al brazo *b*, de modo que se percibe que *a* está situada delante de *b*.
- *Tamaño relativo.* Los objetos que presentan un tamaño más pequeño en relación con otro hacen que parezcan más lejanos, y viceversa: si el objeto tiene un mayor tamaño relativo, parece más próximo. En la figura 1.8 esta clave hace que interpretemos en las primeras dos imágenes –de izquierda a derecha– que el automóvil y la persona pequeña están más lejos que la grande. En la figura inferior, interpretamos que la persona pequeña no está más lejos por dos señales visuales: la persona grande está tocando al pequeño y el pequeño está ubicado delante del grande



Figura 1.8 Clave del tamaño relativo

- *Altura relativa.* Además de que los objetos lejanos ocupan la menor parte del campo visual, también es necesario considerar su ubicación con respecto a la línea del horizonte. De esta manera, los objetos que se encuentren más cercanos a la línea del horizonte son los que se percibirán como más lejanos, tanto aquellos que se encuentran arriba de la línea del horizonte como los que se encuentran abajo.

  Conforme a esta regla, en la figura 1.9, podemos observar que el elefante y la nube que percibe el observador como más lejanos son los primeros de la izquierda, los cuales se encuentran más cerca de la línea del horizonte.



Figura 1.9 Clave de la altura relativa

- *Perspectiva aérea, atmosférica o claridad.* Cuando se observa un objeto distante, se percibe menos nítido que los cercanos a causa de las partículas suspendidas entre el objeto y el observador. De esta manera, los objetos más lejanos se perciben menos nítidos que los cercanos. En la figura 1.10 se observa que los edificios más cercanos se perciben nítidos y confome los edificios están más lejos, se perciben con menor nitidez.



Figura 1.10 Clave de perspectiva aérea

- *Tamaño familiar.* La experiencia que se ha tenido con determinados objetos tiene influencia en la percepcion de la distancia. Por ejemplo, al mirar las monedas de la figura 1.11 el observador pensará que la mone-

da de un peso está más cercana, porque ya sabe que es más pequeña; si estuvieran a la misma distancia las tres, se vería que sus tamaños son diferentes.



Clave de tamaño familiar

- *Perspectiva lineal.* La representación gráfica de profundidad por perspectiva lineal, muy conocida por los diseñadores, es otra pista monocular (figura 1.12). Cuando existen líneas paralelas en perspectiva lineal, cuanto más lejanas están mayor es su convergencia, hasta que a una distancia infinita se encuentran en el llamado *punto de fuga*.



Clave de la perspectiva lineal

- *Paralaje de movimiento.* Esta pista se lleva a cabo cuando la persona que observa los objetos está en movimiento, como ocurre al viajar en tren o automóvil. Los objetos más cercanos pasan en el campo de visión más rápido que los lejanos.
- *Gradientes de textura.* También se le ha llamado perspectiva de detalle. La mayoría de las superficies presentan cierta forma de microestructura, cuyo

aspecto es granular o texturizado. Algunos ejemplos son los prados, follajes y árboles, así como caminos, pisos y telas (Schiffman, 1997). El gradiente es el cambio continuo del tamaño relativo y compactibilidad de un conjunto de objetos en la imagen visual (Coren, Ward y Enns, 2001). De esta manera, la textura de las superficies se hace más densa conforme aumenta la distancia. Esta clave se puede observar en la figura 1.13 (clave monocular establecida recientemente; Goldstein, 1999 y Matlin y Foley, 1996).

- *El sombreado se refiere al patrón de luces y sombras.* Estos patrones brindan información acerca de la solidez y de las partes que sobresalen o se deprimen y de las planas y curvas (Ramachandran, 1988, citado por Matlin y Foley, 1996). La superficie de un objeto que está más cerca de la luz aparece más clara (Schiffman, 2001). Dependiendo de donde provenga la fuente de luz, el patrón de sombreado será diferente (Coren, Ward y Enns, 2001). Esto se aplica a discontinuidades en superficies. La figura 1.14 muestra un ejemplo de la percepción de la profundidad por el sombreado. Se trata de una imagen corporativa de una marca de automóviles. Nótese cómo pareciera que la T encerrada en el círculo está en relieve por el efecto del sombreado.



Gradiente de textura.



Profundidad a base de sombreado.

Acomodación

La acomodación se refiere a la variación de la curvatura del cristalino para enfocar el objeto de acuerdo con la distancia. Mientras más cerca se encuentre el objeto enfocado de los ojos del observador, el cristalino adquiere una forma más convexa; mientras más lejos, más plana (figuras 1.15 y 1.16). Recuérdese que la acomodación funciona a distancias menores que 6.5 metros.

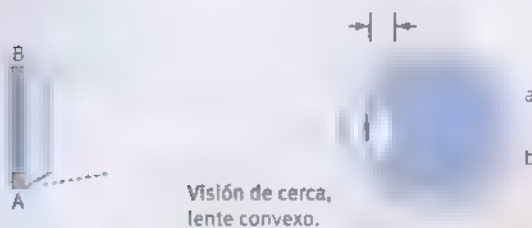


Figura 1.15 Acomodación a objetos cercanos.



Figura 1.16 Acomodación a objetos lejanos.

Las pistas binoculares se refieren a la información o «indicios» perceptuales que los dos ojos proporcionan. Es obvio que la visión binocular supera a la monocular

Al respecto, Cohen (1977) afirma que «los dos ojos son un solo instrumento y su singular interacción ocasiona la percepción de profundidad binocular. Dos ojos coordinados dan más de dos veces la información de profundidad de un ojo o de varios ojos no coordinados». Las pistas consisten en la recepción de las imágenes en cada ojo y la comparación de ambas a nivel de la corteza cerebral, utilizando sus diferencias como un indicador o pista de la posición relativa de los objetos en el espacio. Es importante tener en cuenta que, nuevamente, estas imágenes se relacionan con la experiencia para funcionar como pistas.

Así pues, la disparidad binocular se basa en el hecho de que cada ojo tiene una visión del mundo ligeramente diferente, debido a su colocación en el rostro, de manera que existen simultáneamente dos imágenes distintas, mismas que el cerebro integra en una sola como producto final de la percepción visual, sin embargo utiliza estas diferencias como claves para percibir la ubicación espacial de los objetos dentro del campo visual.

Para comprobar estas dos visiones de cada ojo, se puede fijar la vista en un objeto, taparse un ojo y luego otro; se podrá observar que el objeto mirado con el ojo izquierdo se ve recorrido hacia la izquierda y el que se ve con el ojo derecho, hacia la derecha. Obviamente que estas diferencias de los dos ojos pueden implicar también diferencias en la ubicación de la imagen en cada retina. Dos puntos retinianos, izquierdo y derecho, serán correspondientes cuando se proyecten en la misma dirección. Por el contrario, si las imágenes se forman en lugares diferentes en cada retina, a la disparidad entre estos puntos retinianos se le llama *disparidad retinal*.

El *horóptero* es una curva imaginaria que pasa a través del punto donde fijamos la vista. Por lo tanto, todos los objetos que están a la misma distancia –profundidad– que el punto donde fijamos la vista, estarán también en el horóptero. Cuando se fija la vista en determinado punto, este y todas las imágenes de los objetos que caen en el horóptero se formarán en los puntos retinianos correspondientes en ambos ojos, mientras que en los demás objetos que se encuentran dentro del campo visual, pero que no caen en el horóptero, habrá disparidad retinal. Esta última aumentará en relación con la distancia a la que se encuentre el objeto del horóptero. De esta manera, mientras más lejos esté el objeto del horóptero, mayor diferencia habrá entre los puntos retinianos. La figura 1.17 muestra los puntos retinianos correspondientes. En el punto A se está fijando la vista, el punto B cae también dentro del horóptero; una disparidad retinal (o puntos retinianos dispares) se puede observar en el punto C, el cual no cae en el horóptero y por lo tanto en cada retina la imagen se ubica en un punto diferente. El lector puede comprobar las ubicaciones de los puntos retinianos calcando el dibujo en papel de china, recortando cada retina y sobreponiéndola una sobre la otra, haciendo que coincidan las protuberancias frontales de cada ojo.

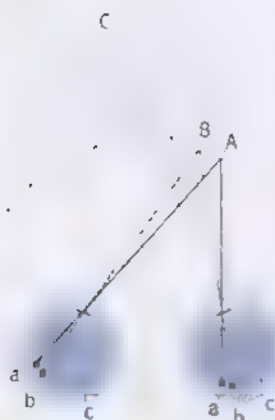


Figura 1.17 A y B, puntos retinianos correspondientes; C, punto retiniano dispar.

En el ejemplo de la figura 1.18, el punto de fijación es Luis y la línea curva discontinua corresponde al horóptero. En la figura 1.19, se muestra cómo las imágenes de Karina y Carlos caen en puntos retinianos diferentes, lo cual constituye una clave para percibir que estos están lejos de la línea del horóptero. Nótese que Carlos, que se encuentra más lejos del horóptero, tiene mayor disparidad retinal que Karina. A la derecha de la figura 1.19 se observa que los puntos retinianos corresponden exactamente en cada ojo en los tres casos: Iván, Luis y Perla, ya que los tres se encuentran en la línea del horóptero. De esta manera, el observador percibirá que Iván, Luis y Perla se encuentran a la misma distancia de él (puntos retinianos correspondientes) y que está más cerca del observador (puntos retinianos dispares), y que Carlos está aun más cerca del observador (puntos retinianos más dispares).



Figura 1.18 Punto de fijación y horóptero.

La superioridad de las claves binoculares se aprecia en el hecho de que los humanos, a través de la disparidad retinal, podemos detectar hasta un micrómetro (.001 mm) de diferencia en la posición de objetos.

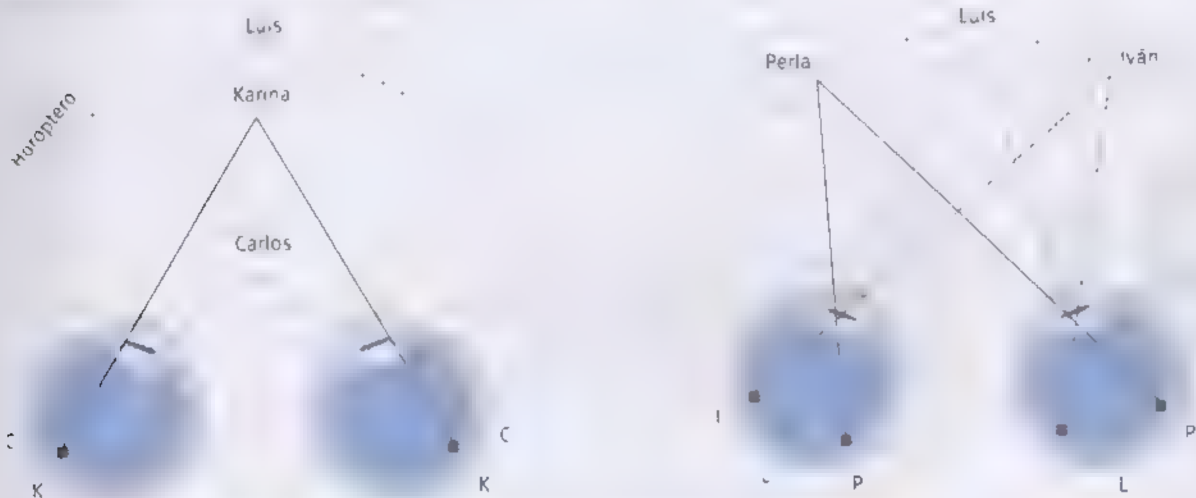


Figura 1.19 Izquierda, puntos retinianos dispares, derecha, puntos retinianos correspondientes. Las iniciales indican la ubicación en la retina de la imagen de cada uno de los personajes.

Con base en la percepción de profundidad por la disparidad binocular se han elaborado los estereogramas y las películas en tercera dimensión que se pueden ver como tales utilizando lentes especiales.

Convergencia

La convergencia corresponde a la colocación de los ejes oculares sobre el objeto y aumenta con la cercanía de este (figura 1.20). Al parecer, la convergencia da información útil de la distancia a la que se encuentra un objeto, a distancias menores de seis metros (Matlin y Foley, 1996).



Figura 1.20 Convergencia y percepción del tamaño.

La acomodación y la convergencia son dos mecanismos que funcionan en interacción, determinados recíprocamente, aunque es necesario recordar que el primero funciona de manera monocular y el segundo de manera binocular. Tanto la acomodación como la convergencia constituyen mecanismos de adaptación del ojo a la ubicación del objeto. El grado en que estos mecanismos participan hace que se envíe información al cerebro acerca de las posiciones relativas en el campo visual.

Percepción del tamaño y de la forma

La *percepción visual del tamaño* se fundamenta en los mecanismos de adaptación del ojo a la distancia –acomodación y convergencia– con la adición del tamaño de la imagen del objeto en la retina. Resulta obvio que la percepción del tamaño no puede limitarse al tamaño de la imagen del objeto en la retina, puesto que la distancia del objeto afecta al tamaño, por lo que es necesaria la participación de la información proporcionada por los mecanismos implicados en la distancia.



Figura 1.21 La luminosidad afecta la percepción del tamaño.

Hay otros factores que se han identificado en la percepción del tamaño. Uno de ellos es la forma: [illegible] las alongadas parecen más grandes que los objetos de igual tamaño pero más compactos. Por ejemplo, un cuadrado o un círculo se perciben [illegible] que un diamante de área equiparable (Matlin y Foley, 1996). [illegible] contra el que se ve la figura: si el fondo es [illegible] la figura se percibirá [illegible].

Por último, la luminosidad también influye en la percepción del tamaño. Así, por ejemplo, si vemos un cuadrado blanco sobre un fondo negro veremos el cuadrado más grande que si se presenta en una relación de luminosidad inversa (figura 1.21).

La *percepción visual de la forma* se fundamenta en la información recibida [illegible] del ojo que siguen el contorno del objeto y que posibilitan la formación de la imagen de la forma del objeto en la retina (figura 1.22). Además de este mecanismo, la estructura de la retina garantiza la percepción de la distinción figura-fondo, lo que facilita en grado sumo la percepción de la forma. El hecho de que en la fovea se concentren los fotorreceptores en relación con la periferia, y de que al enfocar un objeto o figura esta se reciba en la parte central, los objetos circundantes caigan en la periferia y se distingan borrosamente, coadyuva a la percepción del contraste figura-fondo.



Figura 1.22 Micromovimientos del ojo al percibir una forma.

Participación de otros receptores en la percepción visual

El lector habrá notado que hemos hecho referencia a percepción visual del espacio, tamaño, movimiento y forma, lo cual puede parecer redundante. Sin embargo, la redundancia ha sido intencional, con el objeto de indicar la participación del receptor visual en este tipo de percepción, ya que también intervienen otro tipo de receptores. Por ejemplo, en la percepción de la forma tanto lo visual como lo táctil y cinestésico entran en juego, en la percepción del movimiento, del espacio y del tamaño, básicamente lo visual y lo sinestésico desempeñan un papel importante. Cuando hablamos de cinestésico, nos referimos a la capacidad sensorial de percibir el movimiento muscular, peso y posición de las diferentes partes de nuestro cuerpo. Si recordamos que líneas arriba mencionamos la importancia del movimiento de los ojos como información relevante para percibir el movimiento de los objetos, la forma, el espacio y el tamaño, queda clara la participación de la sensibilidad cinestésica en estas percepciones.

La naturaleza de los elementos estructurales y su fisiología, que subyace al proceso perceptivo, permitirán comprender el siguiente tema: las características psicológicas de la percepción visual humana, cuya comprensión resulta imprescindible para cualquier diseñador.

Guía de repaso y evaluación

1. ¿Qué es un estímulo? Da un ejemplo.
2. ¿Qué es un receptor? Da un ejemplo.
3. ¿Cuál es el estímulo para el ojo?
4. ¿Cuál es la capa del ojo que es sensible al estímulo?
5. ¿Qué parte de la retina recibe la imagen para la lectura?
6. ¿Cuáles son los receptores cromáticos?
7. ¿Cuáles son los receptores acromáticos?
8. ¿Qué parte anatómica del ojo se encarga de la regulación de la luz?
9. ¿Qué es el punto ciego?
10. ¿Qué es el quiasma óptico?
11. ¿En qué consiste el nivel central de la visión?
12. ¿En qué consiste el nivel periférico de la visión?
13. ¿Cómo funciona el sistema retiniano que percibe el movimiento? Da un ejemplo.
14. ¿Cómo funciona el sistema de movimiento ocular en la percepción del movimiento? Da un ejemplo.
15. ¿Qué es la acomodación y para qué sirve?
16. ¿Qué es la convergencia y para qué sirve?
17. Menciona y explica cuatro diferencias o analogías entre la cámara fotográfica y el ojo.
18. ¿Qué son los micromovimientos del ojo y para qué se realizan?
19. ¿Qué es la percepción sinestésica?
20. ¿Se relacionan los diferentes sistemas perceptuales? En caso afirmativo, da un ejemplo.
21. ¿Qué es lo que hace posible la visión tridimensional? Explícalo.
22. ¿La pupila del gato tiene la misma forma que en el ojo humano al contraerse?
23. ¿Por qué la falta de contracción o dilatación de la pupila es un signo de daño neurológico?
24. ¿Que estímulos, además de la luz, ocasionan la dilatación o contracción de la pupila?
25. Describe las principales conexiones entre el ojo y el cerebro mediante un diagrama, explicando cómo está representado el campo visual derecho en el lado izquierdo del cerebro y cómo el campo visual izquierdo está representado en el lado derecho del cerebro.

Demostraciones y experimentos

Acomodación

Instrucciones

Cierra un ojo y enfoca a un objeto a cinco o seis metros de distancia, de manera que se vea claramente. Al mismo tiempo que mantienes el ojo enfocado al blanco, coloca el dedo índice en la línea de visión y acércalo lentamente hacia ti (figura 1.23).



Figura 1.23 Pasos para la demostración.

Explicación

El dedo se verá borroso porque el lente está plano para ver lejos. Mantén el dedo a unos 25 centímetros de la cara y ahora fija la vista en él; el blanco lejano se verá borroso pues ahora el lente se ha curvado para ver el dedo claramente (figura 1.24).



Figura 1.24 Izquierda: dedo borroso, lente plano. Derecha: objeto lejano borroso, lente curvo.

Visión binocular

Para ver la importancia de las pistas binoculares en relación con las monoculares, trata de ensartar una aguja viendo con un solo ojo (figura 1.25).



Figura 1.25 Ensarta una aguja.

Explicación

Notarás que cuesta mucho trabajo hacerlo con un solo ojo, pues la visión tridimensional es deficiente sólo con las pistas monoculares.

Convergencia

Instrucciones

Pon tu nariz en el punto de la figura 1.26 y verás qué sucede.



Figura 1.26 Ilustración para convergencia.

Explicación

Al acercar el punto a tus ojos se produce la convergencia de ambos; este fenómeno, además de informarnos que el objeto está cerca, hace que converja la imagen y se observe la bomba en la boca del personaje.

Disparidad binocular e imágenes fantasma

Instrucciones

1. Coloca tus dedos índices frente a tu cara, aproximadamente a 30 centímetros de distancia, con una separación de 2.5 centímetros aproximadamente entre ambos dedos.
2. Enfoca hacia adelante de los dedos, sobre una pared.

Aparecerá un fantasma flotante entre los dedos. Si se hace con un solo ojo desaparece el fantasma.



Figura 1.27 Fantasma.

Explicación

El fantasma es una fusión de las dos imágenes producidas por cada ojo (figura 1.27). Cuando la imagen cae en puntos retinales diferentes, se forman

dos imágenes. Estas dos imágenes pasan desapercibidas por nosotros y sólo pueden notarse bajo condiciones especiales, como en esta demostración.

La percepción de la distancia

Instrucciones

Mira fijamente durante 60 segundos el círculo azul (figura 1.28), inmediatamente después fija tu vista en el punto que se encuentra a la derecha.



Figura 1.28 Ejercicio para demostración de postimagen.

- ¿Qué es lo que viste?

____

____

Vuelve a mirar fijamente el círculo negro durante 60 segundos. Ahora voltea hacia una pared de la habitación donde te encuentras.

- ¿Qué es lo que viste?

____

____

Explicación

Lo que acabas de experimentar es una imagen sucesiva o postimagen. En la siguiente unidad se explicara por qué ocurren estos fenómenos visuales.

Ahora, lo importante es que tomes en cuenta que en las dos ocasiones que miraste fijamente los círculos, el tamaño de la imagen del círculo en la retina era el mismo, ya que el tamaño del estímulo era igual; sin embargo, la postimagen varió en tamaño.

Esto nos demuestra que la percepción del tamaño no sólo se debe al tamaño de la imagen en la retina, sino que influye la distancia (ya que la distancia fue la variación que incluimos para ver la postimagen).

Esto fue determinado por un científico llamado Emil Emmert, quien demostró que el tamaño percibido es igual al tamaño de la imagen en la retina multiplicado por la distancia. De esta manera, a mayor distancia, mayor tamaño percibido.

Ciertamente, aunque sea pequeña la imagen en la retina de un árbol en las montañas de la barranca de Huentitán, visto desde los corredores del ala norte del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño, no lo percibimos como miniaturizado, sino que nuestro cerebro considera la distancia y los percibimos en su tamaño real.

El punto ciego

Instrucciones

Cierra o cubre tu ojo izquierdo y sitúate a una distancia de 25 centímetros aproximadamente, entre tu rostro y la hoja (figura 1.29). Enfoca el ojo derecho en el gato de la izquierda y, al mismo tiempo, muévete lentamente hacia adelante y hacia atrás. En algún punto, en general a una distancia de entre 12 y 40 centímetros del ojo, el perro desaparecerá, es decir la jaula parecerá vacía.



Figura 1.29 Ilustración para demostrar el punto ciego.
Fuente: Smith, 1989, citado por Schiffman, 2001.

Como se aprecia en la figura, la imagen del perro cae en el punto ciego (región donde no hay conos ni bastones), por lo tanto no ocurre respuesta visual.